

地铁车站基坑开挖变形监测与预警研究

刘 洋

四川中水成勘院测绘工程有限责任公司 四川 成都 610031

【摘要】：城市地铁车站大多设于城区中心地带，基坑开挖工作常常会遭遇土层状况、周边建筑和地下管线的影响，很容易引发围护结构偏移、地表沉降等变形情况，这会对施工安全以及周边环境造成很大影响。为了准确控制基坑变形规律，提高风险防控能力，本文选取某城区地铁车站深基坑项目作为研究对象，制定出一套系统的变形监测方案，对基坑变形分布特点及变化趋势进行分析。按照行业的标准及工程实际测量数据来设置变形预警阈值，并创建出符合本项目的动态预警体系，提出相应的施工改良及风险应对办法。研究结果显示，在基坑围护结构水平位移和地表沉降数值上随着开挖深度的增大而同时增大，最大变形区出现在基坑中部无支撑区域，依靠预警系统可以预测出变形异常。相关研究结果可以给同类地铁基坑工程信息化施工及安全控制提供借鉴。

【关键词】：地铁车站；基坑开挖；变形监测；安全预警；围护结构

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.012

引言

城镇化建设步伐不断加快，国内城市轨道交通建设规模逐年增大，地铁成了缓解城市交通压力的主要基础设施。目前大部分基坑工程只做常规数据监测，没有形成动态化的预警机制，数据利用率不高，不能提前发现突发性变形的风险。因此，本文以实际地铁车站基坑工程为依托，对监测布设方案进行优化，分析各个开挖阶段基坑变形特点，建立分级变形预警体系，完善数据采集、分析研判、应急处置全过程的管控模式，从而达到基坑工程精细化安全管理的目的。

1 工程概况

本次研究对象为某二线城市中心城区地铁换乘车站，车站主体结构为矩形框架结构，施工方式为明挖顺作法。车站主体基坑总长 218m，标准段宽度 23.6m，开挖深度区间为 16.2m~18.5m，为一级安全等级深基坑。基坑支护体系为地下连续墙加内支撑，地下连续墙厚 1m，墙深 30m；内部设 4 道支撑，第 1 道为钢筋混凝土支撑，其余 3 道为钢支撑，以约束围护结构变形。基坑周围环境比较复杂，北侧距离市政主干道不到 15m，地下有给排水、燃气、通信等多条重要管线；南侧紧挨多层商住建筑，建筑基础形式为浅基础；东西两侧是城市绿化带和临时施工场地。场地土层自上而下依次为杂填土、粉质黏土、淤泥质土、风化岩层，淤泥质土压缩性大、稳定性差，是引起基坑变形的不利土层，施工风险等级高。

2 基坑变形监测方案设计

2.1 监测核心内容

根据本项目基坑特点、周边环境及有关技术规范，确定监测的主要内容为围护结构深层水平位移、基坑周边地表竖向沉

降、支撑结构轴力三项指标，全方位了解基坑本体和周边土体的变形情况。

2.2 监测点位布设

监测点位采用均匀覆盖、重点加密的原则，在基坑四周围护结构、周边地表和支撑结构上布置监测点位。围护结构深层水平位移测点沿基坑四周每隔 20m 设一个测斜孔，共设 24 个测斜孔，孔深与地下连续墙深度相同；地表沉降测点设在基坑外侧 2 倍开挖深度范围内，垂直基坑边线设 5 条监测断面，每条断面设 6 个监测点；支撑轴力测点设在受力较大的中部支撑上，每层支撑均匀设 12 个监测点位。

2.3 监测频率与控制标准

监测频率根据施工阶段动态调整，基坑开挖初期到支撑架设前每天一次数据采集，开挖到设计深度一半以上、土体应力变化活跃时每天采集两次数据，基坑底板浇筑完成以后逐步降低监测频率，每三天采集一次，直到主体结构施工到地面标高为止。按照轨道交通基坑工程施工规范，确定各项监测指标的极限控制值，具体标准见表 1。

表 1 基坑变形监测指标控制标准

监测指标	单日变形允许值 /mm	累计变形允许值/mm
围护结构深层水平位移	3.0	35.0
周边地表竖向沉降	2.0	25.0
支撑结构单日轴力变化	轴力设计值 10%	轴力设计值 80%

3 基坑开挖变形特征分析

3.1 围护结构水平位移特征

开挖初期, 基坑开挖深度小, 土体应力释放范围小, 围护结构整体变形量小, 墙顶位置出现小幅向内偏移, 单日变形数值在 1mm 以内。基坑开挖到设计标高以后, 围护结构的最大水平位移为 28.6mm, 没有超过累计控制限值, 该数值出现在基坑南侧中部淤泥质土分布区段。对比分析得知, 钢支撑架设时效性对变形影响较大, 及时完成支撑安装可以很好地控制围护结构的深层位移, 使单日变形量控制在 1.5mm 之内。

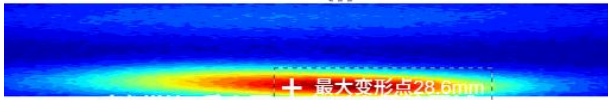


图1 基坑变形热力图

3.2 地表沉降变形特征

基坑周边地表沉降变化趋势与围护结构水平位移具有同步性, 沉降范围主要在基坑外侧 0~30m 范围内, 距基坑边线越近沉降值越大。开挖初期地表沉降速度缓慢, 主要是由于浅层杂填土的固结收缩引起的。开挖到后期, 深层土体受到扰动, 地表沉降速度变快, 离基坑边线最近的测点累计沉降最大值为 21.3mm。远离基坑边线的地方, 沉降数值逐渐减小, 30m 外区域沉降数值小于 5mm, 变形的影响可以忽略。

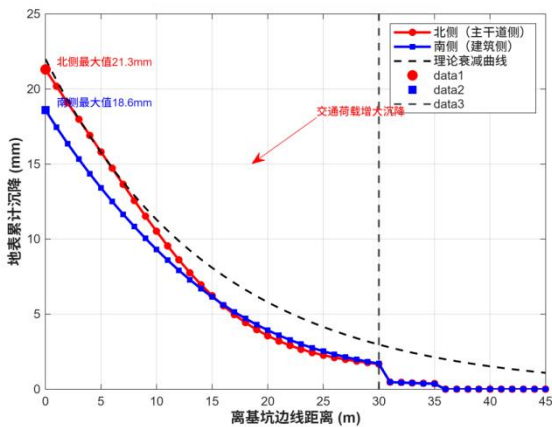


图1 基坑周边地表沉降随距离变化曲线

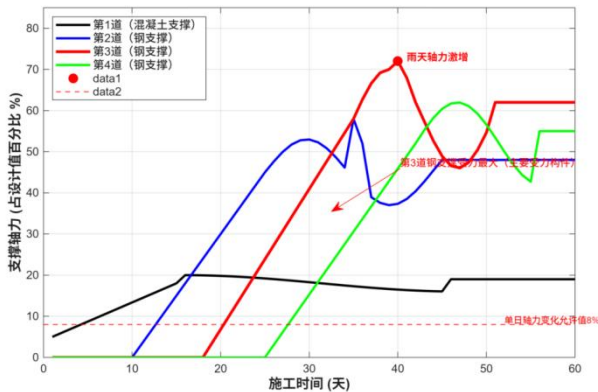


图3 各道支撑轴力随时间变化曲线

4 分级预警体系构建与应用

4.1 预警等级划分

根据现行行业规范、本项目实测变形规律和周边环境敏感程度, 按照变形数值占控制限值的比例, 将预警等级分为 4 个级别, 从低到高依次为正常、蓝色预警、黄色预警、红色预警, 适应不同的变形风险场景, 具体的分级标准见表 2。

表 2 基坑变形分级预警标准

预警等级	变形占控制限值比例	风险状态	处置要求
正常	小于 60%	安全可控	常规监测, 维持现有施工方案
蓝色预警	60%至 75%	低风险	加密监测频率, 排查局部施工隐患
黄色预警	75%至 90%	中风险	暂停局部开挖, 优化支护施工工艺
红色预警	大于 90%	高风险	全面停工, 启动专项应急处置方案

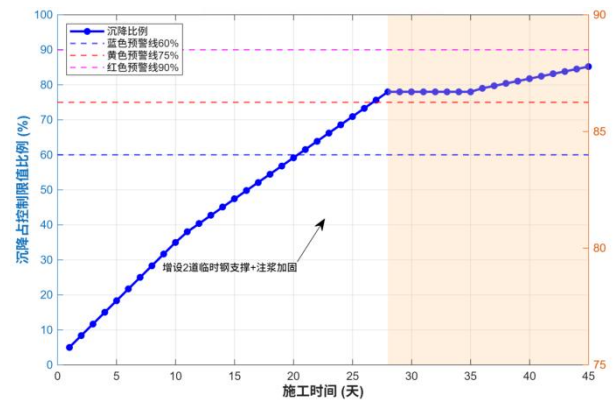


图4 分级预警触发与处置效果曲线

4.2 预警处置措施

针对不同等级预警信号, 制定差异化处置方案。蓝色预警状态时, 把监测频率提高到每天两次, 主要检查对应区段支撑的紧固情况以及土体的渗水状况, 改变分层开挖厚度, 减缓开挖速度。当发出黄色预警时立即停止该区段土方开挖工作, 加临时性辅助支撑, 对围护结构外侧土体注浆加固, 对周边管线、建筑变形巡查, 隐患消除数据恢复正常范围后方可继续施工。

红色预警期间全部停工基坑所有的作业,疏散施工现场的施工人员,技术人员分析变形的原因,采取高压注浆、增加斜向支撑等应急加固措施,等到变形数据连续稳定三天之后,再评价施工是否可行。

4.3 工程应用效果

本项目施工期间,由于该预警系统共发出过3次蓝色预警、1次黄色预警,并没有发生红色预警以及安全事故。南侧淤泥质土区段开挖时地表沉降数值达到控制限值78%,触发黄色预警,项目团队立即停止开挖作业,在该区段增设2道临时钢支撑,并对土体进行注浆加固。处理完毕后,该区段单日沉降值小于1mm,变形趋于稳定。经过实践证明,本项目的施工环境适应性较好,该预警系统可以很好地预知并规避变形问题。

参考文献:

- [1] 朱翥.地铁站基坑在不同支撑形式下的变形响应分析[J].建筑机械,2026,(4):152-157.
- [2] 王浩,董粤,王思寰,等.地铁站基坑开挖变形监测分析及监管管控[J].建设监理,2026,(2):101-107.
- [3] 惠小锋,李发雄.某地铁站超深基坑开挖对周边环境的影响分析[J].兰州理工大学学报,2026,52(1):149-157.
- [4] 马杰.地铁站深基坑开挖变形监测方案研究[J].广东建材,2025,41(1):48-51.

5 结论

本文以中心城区地铁车站深基坑工程为依托,对开挖全过程变形监测和预警进行研究,通过对围护结构位移、地表沉降、支撑轴力三类主要指标的分析,总结出城区复杂环境下基坑变形的规律,建立分级动态预警体系。城区软土地层地铁基坑开挖变形受土层性质、开挖深度、支撑布置、外部荷载等众多因素的影响,围护结构最大水平位移随着开挖深度的降低而增大,软弱土层区段变形风险远大于普通土层,是安全控制的重点区域。地表沉降和围护结构变形具有同步变化的特点,变形影响范围在基坑外侧两倍开挖深度范围内,道路交通荷载会稍微增大地表沉降幅度。创建的四级变形预警体系符合工程实际,可以准确找到各个等级的变形风险,搭配出相应的分级处置方案可以迅速消除安全隐患,保证基坑施工的稳定性的。